

平成30年 5月31日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2017

課題番号：15K12654

研究課題名（和文）力計測に基づいた実走行中の自転車乗車姿勢推定手法の開発

研究課題名（英文）Estimation of Bike Riding Posture Based on Force Measurement

研究代表者

田村 雄介（Tamura, Yusuke）

東京大学・大学院工学系研究科（工学部）・特任准教授

研究者番号：40515798

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,800,000円

研究成果の概要（和文）：スポーツの技術向上において、自己の身体の姿勢を把握することは非常に重要である。本研究では、自転車に搭載可能なセンサのみから自転車乗車時の上半身姿勢を推定する手法を開発した。具体的には、まず、6軸力覚センサおよびひずみゲージによる力計測システムの開発を行った。このシステムを用いて、自転車乗車時の把持位置推定手法、および上半身姿勢推定手法をそれぞれ提案し、実験によりその有用性を確認した。

研究成果の概要（英文）：It is very important to grasp the self-posture for improvement of skills in sports. In this study, we develop a method to estimate bike riding posture only from sensors that can be mounted on a bicycle. At first, we developed force measurement systems by using two 6-axis force/torque sensors and strain gauges. Based on the measurement system, we developed a method to estimate handgrip position and a method to estimate upper body posture. Experimental results proved the usefulness of the proposed method.

研究分野：スポーツ工学

キーワード：自転車 姿勢推定

### 1. 研究開始当初の背景

スポーツの技術向上において、自分の動きをリアルタイムに把握することは非常に重要である。自転車競技においては、主にペダリングの技術に関して数多くの研究が行われている。また、ペダリング時のパワーを測定・提示する機器も一般に普及しつつある。一方、実際の自転車競技においては、空気抵抗や身体の疲労という観点から、下肢だけではなく、上半身の乗車姿勢も非常に重要な要素である。

自転車乗車時の姿勢計測の方法としては、モーションキャプチャ等による計測が考えられるが、装置が大掛かりになったり、動作の範囲が限られたりするなどという問題がある。多数のIMUセンサを体に取り付けて関節角度を推定する方法であれば動作範囲の問題は解消されるが、センサ装着の手間など、一般的な利用を考えると現実的ではない。

### 2. 研究の目的

本研究では、自転車に取り付けることのできる可能なセンサによって乗車姿勢を推定する手法を開発することを目的とする。

具体的には、自転車にかかる力を計測するシステムの開発、およびハンドル把持位置・上半身姿勢を推定する手法の開発を行うことを目指す。

### 3. 研究の方法

(1) ハンドル・サドルへの力・モーメントの計測

#### ① 6軸力覚センサによる計測

計測には、まず固定式の自転車エルゴメータである Wattbike Trainer (Wattbike Ltd.) を用いることとした。ハンドルにかかる力を計測するため、ハンドル部を一般的なドロップハンドルに交換し、アヘッドシステムの根元に 6 軸力覚センサ (BFS067XS102EU6S, Leprino) を取り付けた。また、サドル部にかかる力については、シートポスト下部に同様に 6 軸力覚センサ (PFS100YS302U6, Leprino) を取り付けた (図 1)。



図 1 計測システム

6 軸力覚センサによる力とモーメントの計測データは USB を経由して Windows PC に送信され、図 2 のような座標系に変換する。

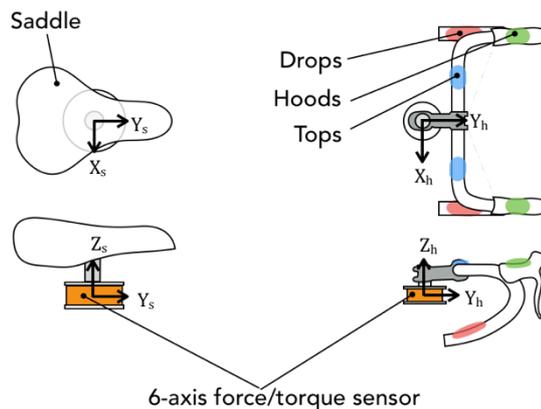


図 2 座標系

#### ② ひずみゲージによる計測

6 軸力覚センサを用いることで精度良く力とモーメントを計測することができるものの、一般的な自転車への搭載はサイズや重量、コスト等の様々な問題から現実的ではない。そこで、図 3 のようにひずみゲージをハンドルバー及びステムに貼付することで、計測を行うことを試みた。ひずみゲージの貼付位置は、特に後述の把持位置推定が可能になるように、 $F_y$ ,  $F_z$ ,  $M_x$ ,  $M_y$  を計測することを考慮して配置した。図 3 の①、②、⑤、⑥は単軸のひずみゲージを、③、④、⑦は 2 軸重ね配置のひずみゲージを用いた。

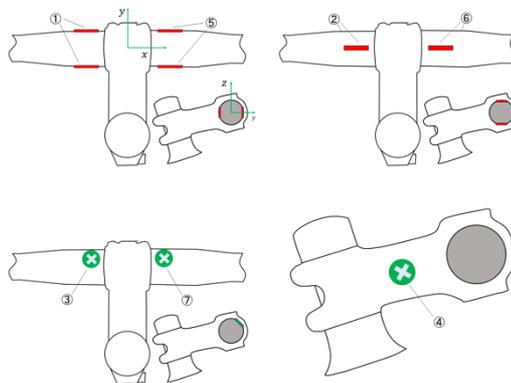


図 3 ひずみゲージの貼付位置

各ひずみゲージ対についてブリッジ回路を構成した。アンプで増幅された差分信号は、Arduino で AD 変換された後、Windows PC に送信される。

#### (2) ハンドル把持位置推定手法の開発

まず、ハンドル把持位置推定に利用する特徴量を決定するため、予備実験を行った。予備実験においては、下ハンドル部 (Drops)、ブラケット部 (Hoods)、上ハンドル部 (Tops) をそれぞれ把持した際のハンドル側 6 軸力覚センサによる計測値を 100Hz で各 30 秒間ずつ

記録した。予備実験の結果から、本研究ではハンドル把持位置推定のための特徴量として、ハンドル部の $F_Y, F_Z, M_X$ を用いることとした。

これら特徴量から構成される特徴ベクトルを用いて、学習データをもとに未知パターンの特徴ベクトルを3クラス（下ハンドル部、ブラケット部、上ハンドル部）のいずれかに識別することでハンドル把持位置推定を行う。本研究では、識別のための手法として Support Vector Machine (SVM) を用いる。SVM のカーネルには Radial Basis Function (RBF) を用い、one-against-one 法を用いてマルチクラス識別に拡張する。

### (3) 上半身姿勢推定手法の開発

自転車に搭載可能なセンサによって得られる情報のみから上半身の姿勢を推定する。ここでは、(1)で開発した計測システムから得られる情報を用いて、自転車乗車時の上半身姿勢を推定することを試みる。ここでは簡単のため右半身の腰、肩、肘、手首を対象とした3リンクモデル（図4）の姿勢を推定する。

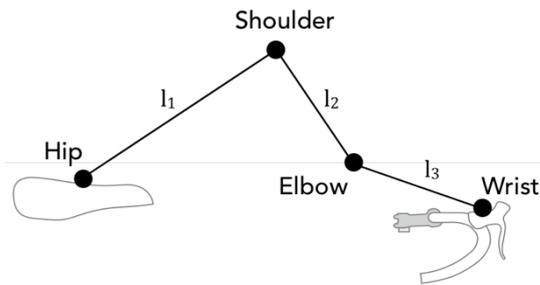


図4 3リンクモデル

推定においてはニューラルネットワークを用いた回帰を行うこととした。2つの6軸力覚センサから得られる力とモーメントの12次元のデータを入力とし、各リンクのXYZ成分計9次元のデータを出力とした。ここで、ニューラルネットワークの隠れ層は5層でノード数は各層32、活性化関数は ReLU (Rectified Linear Unit) である。学習の際には、モーションキャプチャ (V120:Trio, OptiTrack) を用いて各関節の位置を取得するものとした。

## 4. 研究成果

### (1) ハンドル・サドルへの力・モーメントの計測

#### ① 6軸力覚センサによる計測

開発した2台の6軸力覚センサによる計測結果の例を図5、6に示す。この例は、約25秒ごとに把持位置を Drops→Hoods→Tops→Drops→Hoods→Tops と変更したときのものである。図5からわかるように、把持位置によってハンドル部にかかる力やモーメントに違いがあることがわかる。また、図6からわかるように、サドル部についてはハンドル部ほど大きな差異は見られない。また、いずれのセンサについても、ペダルの回転に連動して値が周期的に変化しているのがわかる。

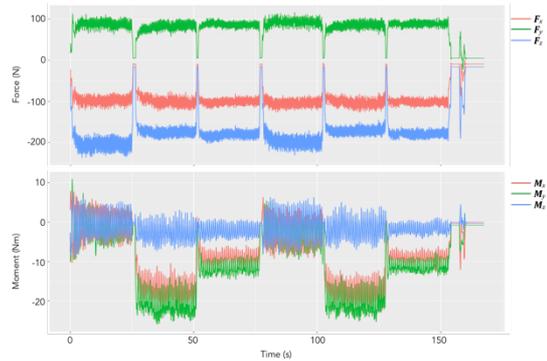


図5 ハンドル部にかかる力とモーメント

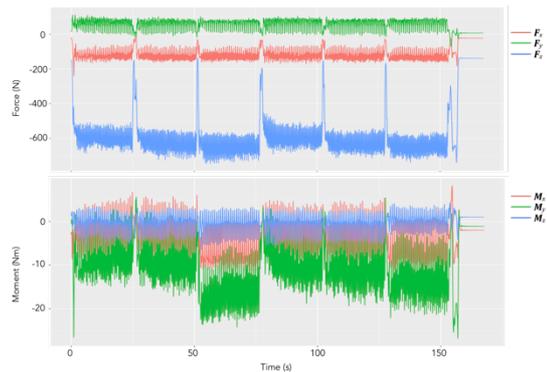


図6 サドル部にかかる力とモーメント

#### ② ひずみゲージによる計測

ひずみゲージを取り付けたハンドルバーおよびシステムを、市販のロードバイクに取り付け、前輪および後輪をスタンド (SS-700, MINOURA) で固定した状態で計測を行った。3通りの把持位置 (Drops, Hoods, Tops) で各30秒ずつペダリングを行った際の各ひずみゲージ対から得られる出力を記録した。

結果の一例として、図3の⑦で示されたひずみゲージ対から出力されたデータを図7に示す。

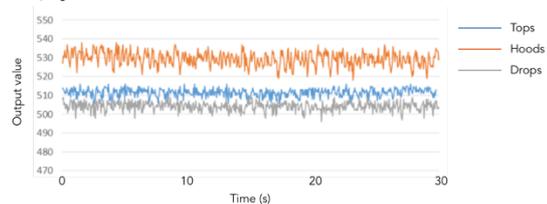


図7 ひずみゲージ対⑦による計測データ

図からわかるように、ひずみゲージによる計測データにおいても、把持位置に応じて出力値に差があるため、この情報を用いて逆に計測データから把持位置を推定可能であることが示唆された。

#### (2) ハンドル把持位置推定

実験には4名の健常な成人男性（平均45.5歳）が参加し、計測は学習フェーズとテストフェーズの2段階に分けて行った。

まず、学習フェーズにおいては、SVMの識

別器を構築するため各把持位置につき 60 秒間のデータを 100Hz で取得した。得られたデータをもとに、LIBSVM を用いて識別器を構築した。

テストフェーズでは、30 秒ごとに把持位置を変え、合計で 6 分間のデータを計測し、各サンプリングタイムにおけるハンドル把持位置の推定結果を出力した。

表 1 に推定結果の混同行列を示す。

表 1 把持位置推定結果

True\Estimated	Drops	Hoods	Tops	Release	Recall (%)
Drops	40980	79	6974	0	85.3%
Hoods	0	48107	151	0	99.7%
Tops	4	11	47563	0	100.0%
Release	18	96	575	496	41.9%
Precision (%)	99.9%	99.6%	86.1%	100.0%	

表からわかるように、提案手法は概ね高い精度、再現率で推定を行うことができた。3 名の実験参加者については非常によく推定を行うことができたが、1 名については特に上ハンドルと下ハンドルの識別の精度があまり高くなかった。これは、この参加者の学習フェーズとテストフェーズにおける乗車姿勢が大きく異なっていたためと考えられる。

### (3) 上半身姿勢推定

(1)①で計測した 6 軸力覚センサの出力データ及び、図 8-12 に示すモーションキャプチャによる関節位置データを用いて提案手法の評価を行った。

図 8 は腰の位置の時間変化を示している。自転車乗車時はサドルに座っているためほとんど位置の変化はないが、ペダリングに応じて振動的な変化をしていることがわかる。

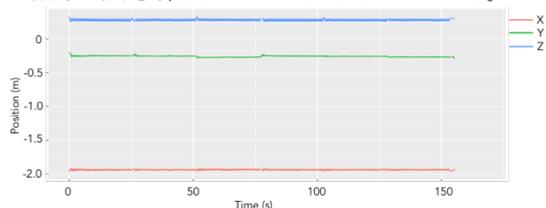


図 8 腰の位置

図 9 は肩の位置の時間変化である。ハンドル把持位置によって Y、Z の値に変化が見られる。

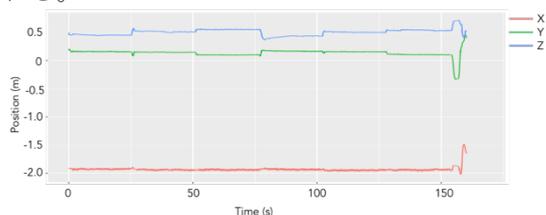


図 9 肩の位置

図 10 は肘の位置の変化である。肩と同様に Y、Z に変化があることがわかる。

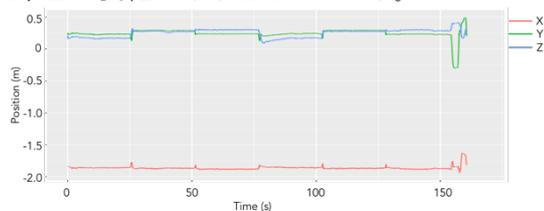


図 10 肘の位置

図 11 は手首の位置の変化である。これは把持位置に最も近いいため、X、Y、Z 全てにおいて変化があるのがわかる。

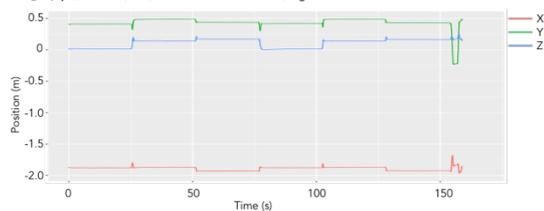


図 11 手首の位置

3 通りのハンドル把持位置における、平均的な上半身姿勢 (YZ 平面) を図 12 に示す。これは、各把持位置での 10 秒間の位置データの平均をプロットしたものである。

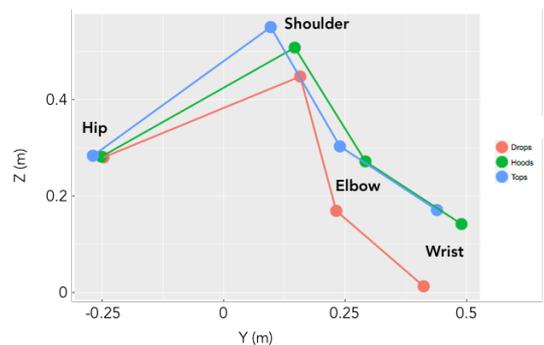


図 12 乗車姿勢 (YZ 平面)

120Hz に揃えた約 150 秒の計測データのうち、前半を学習データとして用い、後半をテストデータとして用いた。学習における epoch 数は 300 とした。

学習したモデルを用いて各リンクの XYZ 成分を推定した結果をそれぞれ図 13-15 に示す。これらの図からわかるように、提案手法によって概ね正しく乗車姿勢が推定できていることがわかる。一方、把持位置を変更して乗車姿勢が大きく変わった直後にはうまく対応できていないことがある。今後は、時系列情報を考慮した上で、上記の課題に対応する必要がある。

また、本研究での手法の評価は固定式の自転車エルゴメータでのものにとどまっている。屋外走行においては、路面の状況が力情報に大きな影響を与えると考えられるため、これらについても対応する必要があると考えられ

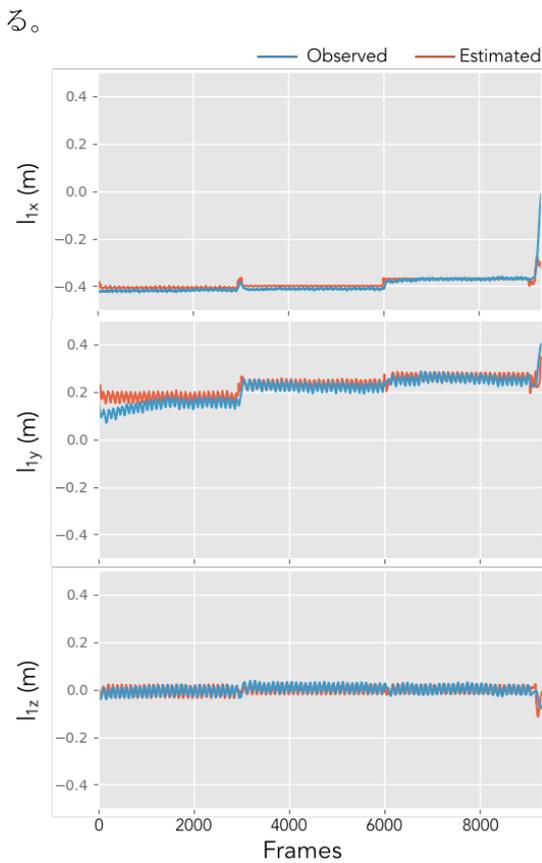


図 13 乗車姿勢推定結果 ( $l_1$ )

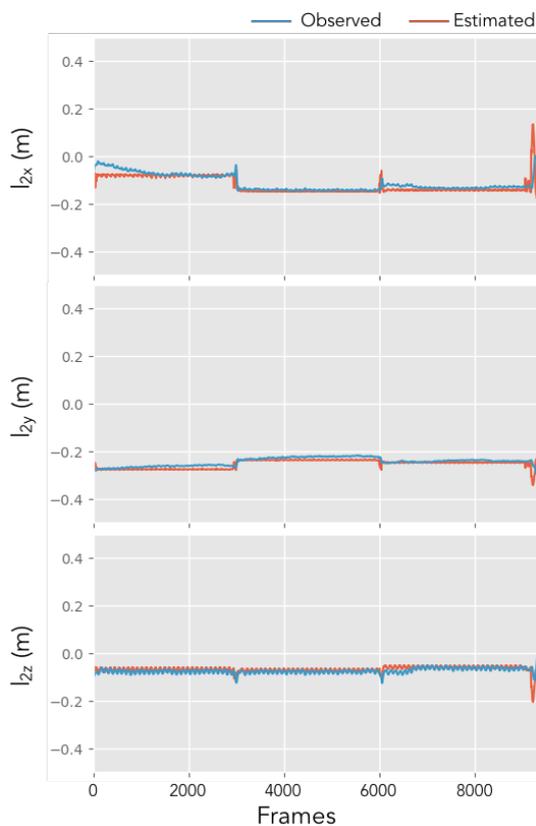


図 14 乗車姿勢推定結果 ( $l_2$ )

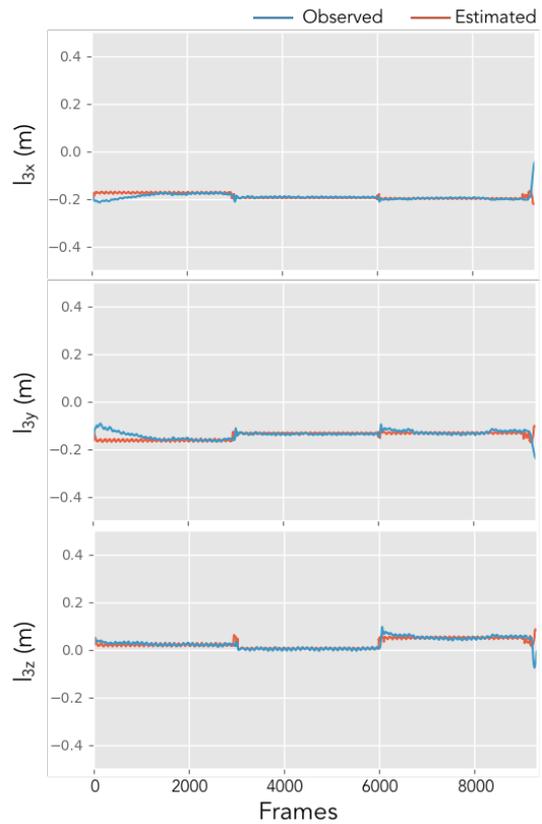


図 15 乗車姿勢推定結果 ( $l_3$ )

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 2 件)

- ① Yusuke Tamura, Kojiro Matsushita, Hisashi Osumi, “Estimation of Handgrip Position Based on Force Measurement During Steady Cycling,” World Congress of Cycling Science (Journal of Science and Cycling, Vol.4, No.2, pp.71-72, 2016), 2015.
- ② 元谷秀明, 田村雄介, 大隅久, “自転車ペダリング動作時の姿勢解析のための 6 軸力覚センサを用いた荷重計測システムの開発”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会, 1P1-H05, 2015.

[その他]

ホームページ等

[https://tamlab.jp/?page\\_id=345](https://tamlab.jp/?page_id=345)

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

田村 雄介 (TAMURA, Yusuke)

東京大学・大学院工学系研究科・特任准教授

研究者番号：40515798